

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-210918

(43)Date of publication of application : 15.08.1997

(51)Int.CI.

G01N 21/88

H01L 21/66

(21)Application number : 08-035480

(71)Applicant : HITACHI ELECTRON ENG CO LTD

(22)Date of filing : 30.01.1996

(72)Inventor : HACHIKAKE YASUO  
IIIZUKA SHIGEHARU

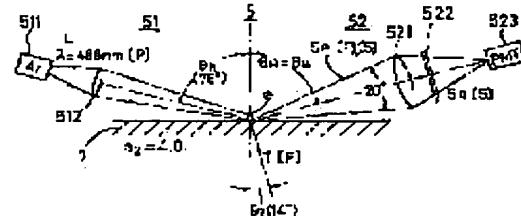
## (54) FOREIGN MATTER SENSING OPTICAL SYSTEM FOR SURFACE OF SILICON WAFER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enhance the S/N ratio of the diffused light from foreign matter by emitting a laser beam in P-polarization from a laser source, minimizing the positive reflection light in P-polarization from the surface, and extracting the S-polarized component of the diffused light in random polarization due to foreign matter.

**SOLUTION:** A laser beam in P-polarization is emitted from a laser source of a light projection system 51 and projected onto the surface of a silicon wafer 1 at a polarization angle of  $\beta_B$ . Therefore the positive reflection light in P-polarization from the surface is minimized, near zero substantially, and is removed by an S-polarizing filter 522 of the light reception system 52, and the influence of the foreign matter (e) on the diffused light is nullified. Beams of the diffused light in random polarization from an oxide layer and crystal flaws existing at the surface and in the inside are partially converged by a condenser lens 521 in the light reception system

52, but their P-polarized components are removed by the S-polarizing filter 522 to result in a decrease in the intensity, so that the diffused light from foreign matter (e) existing at the surface will be received by a light receiving device with no drop of the S/N ratio, and it is possible to sense foreign matter having as small a diameter as below  $0.1\mu\text{m}$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-210918

(43)公開日 平成9年(1997)8月15日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 1 N 21/88  
H 0 1 L 21/66

識別記号  
G 0 1 N 21/88  
H 0 1 L 21/66

府内整理番号

F I  
G 0 1 N 21/88  
H 0 1 L 21/66

技術表示箇所  
E  
J

審査請求 未請求 請求項の数2 FD (全6頁)

(21)出願番号 特願平8-35480

(22)出願日 平成8年(1996)1月30日

(71)出願人 000233480  
日立電子エンジニアリング株式会社  
東京都渋谷区東3丁目16番3号

(72)発明者 八掛 保夫  
東京都渋谷区東3丁目16番3号 日立電子  
エンジニアリング株式会社内

(72)発明者 飯塚 鑑晴  
東京都渋谷区東3丁目16番3号 日立電子  
エンジニアリング株式会社内

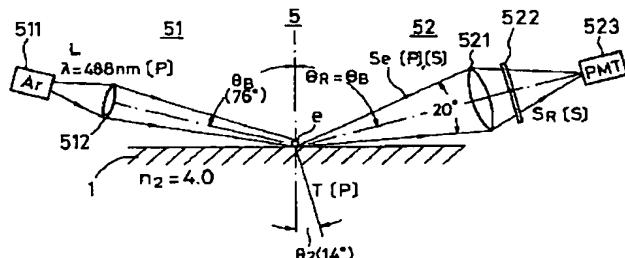
(74)代理人 弁理士 梶山 信是 (外1名)

(54)【発明の名称】シリコンウエハ表面の異物検出光学系

(57)【要約】

【課題】シリコンウエハの表面または内部に存在する、結晶欠陥と酸化物層によるノイズを減少して、表面に存在する0.1  $\mu$ m以下の異物を検出する。

【解決手段】波長488nmのP偏光のレーザビーム  $L_T$  を出力するアルゴンレーザ発振管511と、これを集束してウエハ1の表面に対してブリュースター角  $\theta_B$  で投射する集束レンズ512とよりなる投光系51と、光軸がブリュースター角  $\theta_B$  と等しい受光角  $\theta_R$  に設定され、約20°の集光角を有する集光レンズ521と、S偏光フィルタ522、および光電子増倍管523よりなる受光系52とにより構成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】屈折率nのシリコンウエハの表面に対し、レーザ光源よりP偏光のレーザビームをブリュースター角 $\theta_B$ で投射し、該投射されたレーザビームの該表面によるP偏光の正反射光を零に近い極小値とする投光系と、該投光系に対して対称的に設けられ、光軸が該ブリュースター角 $\theta_B$ に等しい受光角 $\theta_R$ に設定され、適当な集光角を有し、該表面に存在する異物によるランダム偏光の散乱光を集光する集光レンズと、該集光された散乱光のS偏光成分を抽出するS偏光フィルタ、および該抽出されたS偏光成分を受光して、異物信号を出力する受光器よりなる受光系とにより構成されたことを特徴とする、シリコンウエハ表面の異物検出光学系。

【請求項2】前記投光系のレーザ光源は、波長入が488nmの前記P偏光のレーザビームを出力するアルゴンレーザ管を使用し、該波長入に対する前記シリコンウエハの屈折率nを4.0、該屈折率nに対する前記ブリュースター角 $\theta_B$ を76°とし、前記受光系の受光角 $\theta_R$ を約76°に、前記集光レンズの集光角を約20°にそれぞれ設定したことを特徴とする、請求項1記載のシリコンウエハ表面の異物検出光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、シリコンウエハの表面に存在する異物を検出するための光学系に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体ICの素材のシリコンウエハは、高純度の多結晶シリコンから、引き上げ法などにより単結晶シリコンのインゴットを作り、これをスライスして薄板とし、その表面を研磨して鏡面に仕上げて製作され、さらに表面に付着した異物を洗浄して使用される。この洗浄にもかかわらず、いくらかの異物が表面に残留することがあり、これが残留するとICの品質を阻害するので、異物検査装置により異物の有無が検査され、もし有るときはさらに洗浄が繰り返されるなどの措置がとられている。

【0003】図6により従来の異物検査装置の概要を説明する。(a)は異物検査装置の基本構成を示し、回転・移動テーブル2と、検査光学系3、およびデータ処理部4などによる。被検査のシリコンウエハ(以下単にウエハ)1は回転・移動テーブル2に載置され、これに対して検査光学系3のレーザ光源31が出力するレーザビーム $L_T$ は、コリメータレンズ32により平行とされ、ミラー33を経て集束レンズ34によりスポット $S_p$ に集束されてウエハ1の表面に垂直に投射される。回転・移動テーブル2の回転と半径方向の移動により、スポット $S_p$ はウエハ1の表面をスパイラル状に走査してウエハ1の全面が走査される。表面に異物eが存在すると、(b)に示すように、スポット $S_p$ は異物eによりランダムな方向

に散乱光 $S_e$ を散乱し、その一部は光軸が45°をなす集光レンズ35により集光されて光電子増倍管(PMT)36に受光され、その出力信号はデータ処理部4の異物検出回路41に入力し、これに設定された適当な閾値vに比較されてノイズが除去され、異物eとその大きさが検出される。検出された大きさデータはデータ編集回路42に入力し、異物eのXY座標値が付加されて異物データが編集され、プリンタ43によりプリントされてマップ表示される。

【0004】上記の検査光学系3においては、レーザ光源31として、短い波長のレーザを発振するアルゴンレーザ管を使用し、スポット $S_p$ の直径を微小な数 $\mu m$ として強度を強くし、集光レンズ35には集光角の大きいものを使用して散乱光 $S_e$ を有効に集光し、またPMT36は大きい增幅率を有するので、異物eは0.15 $\mu m$ 程度の直径まで検出可能とされている。

【0005】最近におけるICメモリの集積密度は16メガビットから64メガビットまたはそれ以上に向上しており、16メガビット以下のICメモリの異物管理は、0.2 $\mu m$ 以上の直径のものが有害とされていたが、64メガビット以上の場合は、0.1 $\mu m$ 以下の異物も品質を阻害するものとされている。これに対して、上記のスポット $S_p$ の強度や、集光レンズ35の集光角、PMT36の增幅率などをさらに増強しても、これに伴ってノイズが増加するため、0.1 $\mu m$ 以下の異物eの検出は困難である。このノイズの原因は種々あるが、その中には、ウエハ1の製造過程で生じ、表面または内部に存在する結晶欠陥(COP; crystal Originated Particle)や酸化物層(OSF; Oxidation Induced Stacking Fault)があり、これらが散乱する散乱光がノイズとなって、異物の散乱光 $S_e$ のS/N比が劣化するからである。

【0006】図7は、COPとOSFのモデルを示す断面図で、COPはウエハ1の表面に皿状をなして浅く、またはやや深く存在し、または内部にも存在する。OSFも同様に表面や内部に存在し、これらは異物eと同様にレーザビーム $L_T$ を散乱する。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】異物eの検出性能を従来以上に向上するためには、COPとOSFによるノイズを減少して、異物eの散乱光 $S_e$ のS/N比を良好とすることが必要である。この発明は、上記の検査光学系3を改善して、COPとOSFによるノイズを減少し、0.1 $\mu m$ 以下の異物を検出することを課題とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】この発明は、上記の課題を解決したシリコンウエハ表面の異物検出光学系であって、屈折率nのシリコンウエハの表面に対して、レーザ光源よりP偏光のレーザビームをブリュースター角 $\theta_B$ で投射し、投射されたレーザビームの表面によるP偏光

の正反射光を零に近い極小値とする投光系と、投光系に対して対称的に設けられ、光軸がブリュースター角 $\theta_B$ に等しい受光角 $\theta_R$ に設定され、適当な集光角を有し、表面に存在する異物によるランダム偏光の散乱光を集光する集光レンズと、集光された散乱光のS偏光成分を抽出するS偏光フィルタ、および抽出されたS偏光成分を受光して、異物信号を出力する受光器よりなる受光系とにより構成される。

【0009】上記の投光系のレーザ光源は、波長入が488 nmのP偏光のレーザビームを出力するアルゴンレーザ管とし、この波長入に対するシリコンウエハの屈折率nを4.0、この屈折率nに対するブリュースター角 $\theta_B$ を76°とし、受光系の受光角 $\theta_R$ を約76°に、集光レンズの集光角を約20°にそれぞれ設定したものである。

【0010】

$$r[P] = [\tan(\theta_1 - \theta_2) / \tan(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$t[P] = 1 - r[P] \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$r[S] = [\sin(\theta_1 - \theta_2) / \sin(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$t[S] = 1 - r[S] \quad \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 $\theta_2$ はスネルの法則により、次式により決まる。

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

式(1)において、 $\theta_1 + \theta_2 = \pi/2$ のときは $\tan(\theta_1 + \theta_2)$ が無限大となるため、 $r[P]$ は0となって正反射光R[P]は消失し、このときの $\theta_1$ がすなわちブリュースター角 $\theta_B$ である。

【0011】さて、この発明においてはシリコンウエハ1のブリュースター角 $\theta_B$ を知ることが必要であり、これはシリコンの屈折率nより算出することができる。ただし、一般的にシリコンやガラスなどの屈折率nは波長入に依存して変化するもので、例えば波長3 μmに対するシリコンの屈折率nとして、3.43が公表されている（光工学ハンドブック：p307 参照）。しかし、検出光学系に使用するレーザビームの波長入は、レーザ光源の種類により異なるので、その波長入に対する正確な屈折率nが欲しい。これに対して、この発明の発明者は、実験によりシリコンウエハ1のブリュースター角 $\theta_B$ を直接求めている。

【0012】図2は、上記の実験データを示す曲線図で、横軸は入射角 $\theta_1$ 、縦軸は反射率rと透過率tとを%で示す。レーザ光源としてアルゴンレーザ管を使用し、これが発振する488 nm波長の直線偏光波の角度を変えて、[P]偏光波と[S]偏光波を作り、それらをシリコンウエハ1の表面に投射し、入射角 $\theta_1$ に対する反射率r[P]、透過率t[P]と、反射率r[S]、透過率t[S]とをそれぞれ測定して図に×で示す実測値がえられている。反射率r[P]は $\theta_1 = 76^\circ$ で極小値を示すので、これが一応ブリュースター角 $\theta_B$ とされ、従って屈折角 $\theta_2$ は14°とされる。

【0013】ここで念のため、このブリュースター角 $\theta_B$

【発明の実施の形態】まず、図1および図2により、この発明において重要なブリュースター角 $\theta_B$ について説明する。図1において、屈折率 $n_1 = 1$ の空気側から、屈折率 $n_2$ の誘電体の表面に対して、[P]偏光波と[S]偏光波の光束Lを、それぞれ適当な入射角 $\theta_1$ で投射すると、光束Lは表面により正反射され、また屈折率 $n_2$ により決まる屈折角 $\theta_2$ を屈折して表面を透過し、誘電体の内部に侵入する。この場合、[P]偏光波の正反射光R[P]と透過光T[P]と、[S]偏光波の正反射光R[S]と透過光T[S]とは、入射角 $\theta_1$ のいかんによりそれぞれ大幅に変化する。いま、rを表面のエネルギー反射率、tを表面のエネルギー透過率とすると、[P]偏光波に対する反射率r[P]、透過率t[P]と、[S]偏光波に対する反射率r[S]、透過率t[S]は、次の公知の各式により与えられる。

$$r[P] = [\tan(\theta_1 - \theta_2) / \tan(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$t[P] = 1 - r[P] \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$r[S] = [\sin(\theta_1 - \theta_2) / \sin(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$t[S] = 1 - r[S] \quad \dots \dots \dots (4)$$

る。

$$r[B] = [\sin(\theta_1 - \theta_2) / \sin(\theta_1 + \theta_2)]^2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

$\theta_B$ が正しいか否かを検討してみる。上記の式(5)に、 $\theta_1 = 76^\circ$ 、 $\theta_2 = 14^\circ$ を代入して $n_2$ を求めるとき、シリコンウエハの屈折率n=4.0がえられる。式(5)のn<sub>2</sub>を4.0として種々の $\theta_1$ に対する $\theta_2$ を求め、これらを式(1)～(4)に入れて、r[P]、t[P]、r[S]、およびt[S]を算出すると、図に示す計算値がえられた。r[P]とt[P]の実測値は、ブリュースター角 $\theta_B$ （76°）の近傍で1%程度の差異があるが、これ以外の測定範囲に関しては、計算値とほぼ正確に一致しているので、実測値が正しいことが認められる。ただし、r[S]とt[S]の実測値は計算値と一致せず、その理由は詳らかでないが、取りあえず不問とする。

【0014】図3は、上記の実験結果を踏まえて構成された、この発明の異物検出光学5の構成を示す。投光系51はアルゴンレーザ発振管511をレーザ光源とし、これが発振する波長488 nmのレーザビームL<sub>1</sub>をP偏光波とし、これを集束レンズ512により集束して、ウエハ1の表面に対してブリュースター角 $\theta_B$ （76°）で投射する。表面による正反射光R[P]の強度は、投射したレーザビームL<sub>1</sub>の1%程度である。一方、表面で屈折した透過光T[P]の強度は、透過率t[P]が～99%であるため、ほとんどが表面を透過して内部に侵入する。ウエハ1の減衰率 $\alpha$ は、 $1.28 \times 10^4 / \text{cm}$ とされており、内部に侵入した透過光T[P]は、深さが例えば、1 μmで27%、2 μmで7.7%、3 μmで2%……などと急激の減衰する。

【0015】受光系52は、光軸がブリュースター角 $\theta_B$

と等しい受光角  $\theta_R$  に設定され、 $20^\circ$  の集光角を有する集光レンズ521とS偏光フィルタ522、およびPMT523よりなる。上記の1%程度の正反射光R[P]は、受光系52の集光レンズ521により集光されるが、S偏光フィルタ522により除去されるのでPMT523には受光されず、また投射したレーザビームL<sub>1</sub>には[S]偏光波は含まれていないので、その正反射光も存在せず、PMT523にはもちろん入射しないので、これらはノイズとならない。これに対して表面に存在する異物eは、

[P] と [S] の両成分が混在するランダム偏光の散乱光  $S_r$  をランダムな方向に散乱し、その一部が集光レンズ<sup>521</sup> により集光され、S 偏光フィルタ<sup>522</sup> により

[P] 成分が除去されて [S] 成分がPMT523に受光される。

【0016】図4により、COPとOSFの散乱光S<sub>c</sub>とその受光状態を説明する。(a)において、ウエハ1の表面に存在するCOPまたはOSFに、レーザビームL<sub>t</sub> [P] が投射されると、これらの形状が平面に近いため、その散乱光S<sub>c</sub>は [P] 成分が [S] 成分より強く、[P] 成分はS偏光フィルタ522により除去され、弱い [S] 成分がPMT523に受光されるので、異物eの散乱光S<sub>c</sub>のS/N比はほとんど低下しない。(b)

において、ウエハ1の内部に存在するCOPまたはOSFに、透過光T[P]が投射されると、これらはランダム偏光の散乱光S<sub>c</sub>をランダムな方向に散乱し、その一部が集光レンズ521に入射する。この場合、20°の集光角の集光レンズ521の集光範囲は、ウエハ1の表面に対して25°と5°の角度範囲であり、両角度は表面に対して低角度であるため、この角度範囲に対応する内部側の角度範囲△θは1°程度の微小で、集光レンズ521に入射する散乱光S<sub>c</sub>は、全体のほんの一部分にすぎない。また、COP、OSFの深さdが深いと、透過光T[P]と散乱光S<sub>c</sub>はともに、前記したように内部で減衰する。これらにより集光レンズ521に集光される散乱光S<sub>c</sub>は大幅に減少して、異物eの散乱光S<sub>e</sub>のS/N比をほとんど低下させない。以上により、異物eの散乱光S<sub>e</sub>は良好なS/N比でPMT523に受光され、0.1 μm以下の異物eの検出が可能とされる。

【0017】上記においては、アルゴンレーザ管511が発振する488nm波長のレーザビームを使用したが、これ以外の、例えばヘリウムネオンレーザ管が発振する633nm波長のレーザビームの場合について考察する。633nm波長に対するシリコンの屈折率は、取りあえず明確でないが、例えば前記した3μmに対する3.43の屈折率に対して、式(5)によりブリュースターアイ角 $\theta_B$ を計算すると、73.7°がえられ、この角度は488nmに対する76°と大差がない。633nmは、488nmと3μmの間にがあるので、そのブリュースターアイ角 $\theta_B$ も73.7°と76°の間にあると考えられる。従って、ヘリウムネオンレーザ管を光源とし、上

記と同様の実験を行って 633 nm 波長に対するブリュースター角  $\theta_B$  を求めて投光系 51 を構成しても、上記と同様の結果を得ることができる。

[0018]

【実施例】図5は、上記の異物検出光学系5を具備した異物検査装置10の一実施例の構成図を示す。異物検査装置10は、前記した図3の異物検出光学5を有し、ただし投光系51には、コリメータレンズ513と2個のミラー514、515を図示の位置に付加し、受光系52は全く同一とする。また異物検査装置10は、図6の従来の異物検査装置と同様に、回転・移動テーブル2とデータ処理部4とを有する。

【0019】以下、図5により上記の異物検査装置10の動作を説明する。被検査のウエハ1は回転・移動テーブル2に載置されて、回転と半径方向の移動する。これに対して異物検出光学系5のアルゴンレーザ管511よりの488nm波長でP偏光のレーザビーム $L_T$ は、コリメータレンズ513により平行とされ、両ミラー514, 515を経て集束レンズ512によりスポット $S_T$ に集束されて、ブリュースター角 $\theta_B$ （～75°とする）でウエハ1の表面に投射され、スポット $S_T$ がウエハ1の表面をスパイラル状に走査する。

【0020】表面に存在する異物eのランダム偏光の散乱光S<sub>1</sub>は、受光系52の集光レンズ521により集光され、S偏光フィルタ522により[S]成分が抽出される。一方、表面および内部に存在するCOPとOSFは、透過光T[P]を散乱し、このランダム偏光の散乱光S<sub>2</sub>は、その一部分が集光レンズ521により集光され、S偏光フィルタ522より[S]成分が抽出され、これが前記した理由により、異物の散乱光S<sub>3</sub>はS/Nがほとんど低下せずにPMT523に受光される。PMT523が出力する異物信号はデータ処理部4の異物検出回路41に入力し、これに設定された適当な閾値vに比較されて微小なノイズが除去され、0.1μm以下までの異物eと、それぞれの大きさとが検出される。以下従来と同様に、検出された大きさデータはデータ編集回路42に入力し、各異物eのXY座標値が付加されて異物データが編集され、これがプリント43によりプリントされてマップ表示される。

[0 0 2 1]

【発明の効果】以上の説明のとおり、この発明の異物検出光学系においては、シリコンウエハの表面に対して、投光系のレーザ光源よりのP偏光のレーザビームをプリュースター一角 $\theta_B$ で投射することが大きい特徴で、これにより、表面によるP偏光の正反射光は零に近い極小値とされ、さらに受光系のS偏光フィルタにより除去されて、異物の散乱光に対するその影響が排除され、また表面と内部に存在する結晶欠陥と酸化物層のランダム偏光の散乱光とは、それぞれの一部分が受光系の集光レンズ

により集光されるが、S偏光フィルタによりこれらの[P]偏光成分が除去されて強度が減少するので、表面に存在する異物の散乱光はS/N比が低下することなく受光器に受光され、従来困難であった0.1μm以下の直径の異物までを検出可能とするもので、64メガビット以上の高集積密度のICに対するシリコンウエハの異物検査に寄与する効果には、大きいものがある。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、この発明におけるブリュースター角の説明図である。

【図2】図2は、シリコンウエハの反射率などの実験データを示す曲線図である。

【図3】図3は、この発明の異物検出光学系の構成図である。

【図4】図4は、異物検出光学系における結晶欠陥と酸化物層によるノイズの発生と受光状態の説明図で、(a)は結晶欠陥と酸化物層が表面に存在する場合、(b)は内部に存在する場合である。

【図5】図5は、異物検出光学系を具備した異物検査装置の構成図である。

【図6】図6は、従来の異物検査装置の説明図で、(a)は基本構成図、(b)はレーザビームの異物による散乱光

の説明図である。

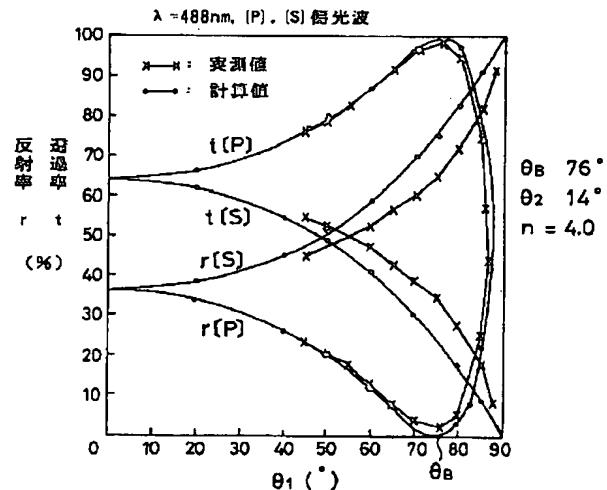
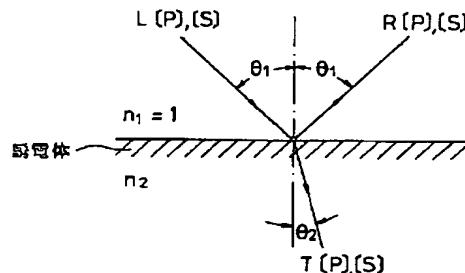
【図7】図7は、シリコンウエハの表面または内部に存在する、結晶欠陥と酸化物層のモデルを示す断面図である。

【符号の説明】

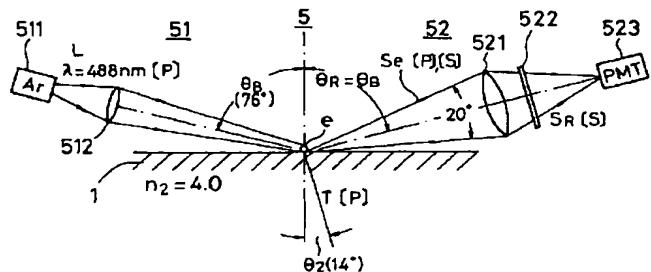
1…シリコンウエハ、2…XY移動ステージ、3…従来の異物検査光学系、31…レーザ光源、32…コリメータレンズ、33…ミラー、34…集束レンズ、35…集光レンズ、36…光電子増倍管(PMT)、4…データ処理部、41…異物検出回路、42…データ編集回路、43…プリンタ、5…この発明の異物検出光学系、51…投光系、511…アルゴンレーザ管、512…集束レンズ、513…コリメータレンズ、514, 515…ミラー、52…受光系、521…集光レンズ、522…S偏光フィルタ、523…光電子増倍管(PMT)、10…異物結晶光学系5を備えた異物検査装置、 $\theta_1$ …入射角、 $\theta_2$ …屈折角、 $\theta_B$ …ブリュースター角、n…屈折率、λ…波長、e…異物、 $S_e$ …異物の散乱光、r…反射率、t…透過率、 $r_P$

[P]…P偏光波の反射率、 $r_S$ …S偏光波の反射率、 $t_P$ …P偏光波の透過率、 $t_S$ …S偏光波の透過率、COP…結晶欠陥、OSF…酸化物層、 $S_c$ …COPとOSFの散乱光。

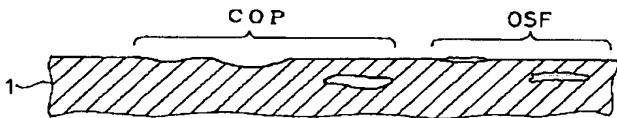
【図1】



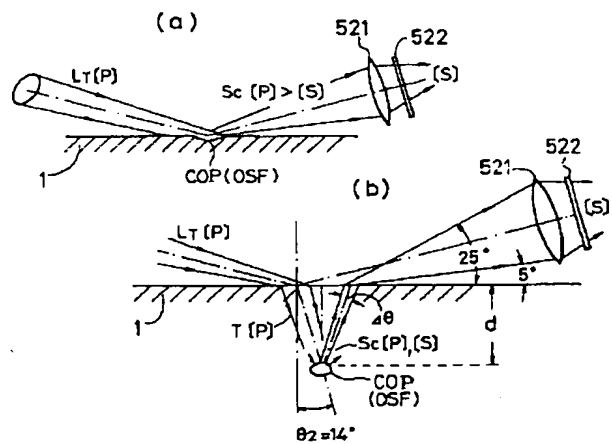
【図3】



【図7】

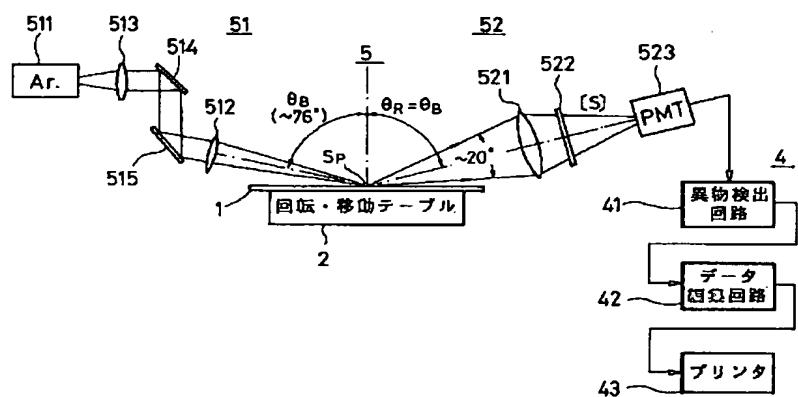


【図4】



【図5】

10



【図6】

